

© 2022 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-13, 2022.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>

Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México

Andrés A. Pacheco-Jiménez¹, J. Basilio Heredia¹, Erick P. Gutiérrez-Grijalva²,
Eber A. Quintana-Obregón³ y María D. Muy-Rangel^{1*}

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, ²Catedras CONACYT, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Carretera El Dorado Km 5.5, Campo el Diez, Culiacán Rosales 80110, Sinaloa, México, ³Cátedras CONACYT, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Hermosillo 83304, Sonora, México. E-mail: *mdmuy@ciad.mx

RESUMEN

En el 2020 México exportó alrededor del 24% de la producción nacional de mango, mientras que en el mercado interno se industrializa del 13 al 16%, y el resto se comercializa como fruto fresco. Sin embargo, a pesar de su bajo procesamiento, los residuos que genera la industria del mango (32-50%) son una fuente de contaminación ambiental. Además, se suman pérdidas de fruta fresca (30-50%) asociadas al manejo postcosecha y problemas en su comercialización. El aprovechamiento de la biomasa de mango no utilizada, representa una oportunidad para elaborar subproductos en busca de un valor agregado e impulsar el desarrollo económico de las regiones productoras de este fruto a través de la obtención de pectinas como una buena alternativa y con rendimientos del 15 al 32%. Hoy en día el valor comercial de un kilogramo de pectina en el mercado puede alcanzar los \$1,000.00 pesos. Además, de la biomasa restante se puede obtener fibra y fenoles de gran demanda en las industrias farmacéutica, cosmética y alimenticia. El objetivo de esta revisión es recopilar lo que se conoce sobre el contenido de pectina en la cáscara de mango de distintos cultivares, y realizar un breve análisis del mercado actual y de los métodos de extracción de pectina más eficientes.

Palabras clave: cáscara de mango, *Mangifera indica* L., mango, pectina, extracción de pectina.

Industrial potential of the mango peel (*Mangifera indica* L.) to obtain pectin in Mexico

ABSTRACT

At 2020 Mexico exports around 24% of the national mango production, it is industrialized from 13 to 16%, and the rest is sold as fresh fruit. However, despite its low processing, the waste generated by the mango industry (32-50%) is a source of environmental pollution. In addition, losses add up of fresh fruit (30-50%) associated with the post-harvest handling and commercialization problems. The exploitation of mango-biomass not used represents a potential for elaborate byproducts to give it added value and promote the economic development of the regions that produce this fruit, where the pectin can be a good value-added alternative with yields of 15 to 32%. Nowadays one kilogram of commercial pectin in the market can cost \$1,000.00 pesos. In addition, fiber, and phenols with potential use in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries can be obtained from the remaining biomass. The compilation of what is known about pectin content in mango peel from different cultivars, a brief analysis of the current pectin market, and the most efficient extraction methods were objectives of this review.

Key words: mango peel, *Mangifera indica* L., mango, pectin, pectin extraction.

INTRODUCCIÓN

México es el exportador número uno de mango con alrededor del 24% de la producción nacional, y ocupa el quinto lugar en la producción de esta fruta a nivel mundial, superado únicamente por India, China, Tailandia e Indonesia (FAO, 2020). Esto, debido a las óptimas condiciones de un clima cálido y seco, desde la costa oriente, centro y occidente del país, con intervalo de temperaturas de 26 a 32 °C, precipitaciones de 1,000 a 1,500 mm y suelos de textura media, bien drenados, con pH de 6 a 8; que permiten producir de manera escalonada mangos con calidad comercial durante casi todo el año; en los estados de Guerrero, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Colima y Campeche (SAGARPA, 2017; EMEX, 2021). México tiene 16 regiones productoras de mango, donde además de su comercialización en fresco, se realizan estudios para la elaboración de nuevos productos a partir de la pulpa, la cáscara y el hueso. De la misma manera, se busca mejorar el proceso de elaboración de las mermeladas y las bebidas, con la finalidad de incrementar el valor agregado y la rentabilidad del cultivo, tanto para los productores, como para los procesadores y comercializadores (SAGARPA, 2017).

De acuerdo con los datos del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), en el 2019 se produjeron en México 2,089,041 ton de mango con un valor de \$9,108,415,980.00 pesos, con un rendimiento promedio de 10.79 ton·ha⁻¹ sobreesaliendo el cv. Ataulfo con 614,409.07 ton (producción convencional + orgánica), lo que representa el 29.4% de la producción nacional, seguido de los cv. Kent (14.8%) y Manila (14.7%) (SIAP, 2021). Para el 2030, se estima un incremento de la demanda mundial del mango de 3.23 a 4.06 millones de toneladas, mientras que para el mismo año se prevé un crecimiento acumulado de 42.7% en la producción nacional, con un crecimiento promedio anual de 2.4%. Con esto, se proyecta una producción potencial de 2,690,000 toneladas de mango, lo que permitiría aumentar las exportaciones de este fruto de 440,000 a 890,000 toneladas, con un valor de \$936.79 millones de dólares (SAGARPA, 2017).

Actualmente, la industria del mango se basa en el procesamiento y aprovechamiento de la parte comestible del fruto, que representa del 33 al 85% del peso total del mismo, para la obtención de la pulpa, el jugo y el néctar principalmente; mientras que la cáscara constituye del 7 al 24% dependiendo del cultivar (Guerrero & Campos, 2014; Barreto, Púa, De Alba & Pión, 2017; San Martín-Hernández, Pérez-Rubio, Muy-Rangel, Vargas-Ortiz & Quintana-Obregón, 2020). Durante el proceso de transformación del mango, se generan desechos que representan problemas de contaminación al no existir un manejo adecuado de estos residuos, principalmente

de la cáscara, la semilla y los residuos de la pulpa (Sumaya-Martínez, Herrera, García & Paredes, 2012; Flores, Mariños, Rodríguez & Rodríguez, 2013; Barreto *et al.*, 2017). De acuerdo con un estudio de la Cadena Agroalimentaria del Mango, en México se desperdicia aproximadamente el 40% de la materia prima. Al mismo tiempo, una empresa procesadora ubicada en Nayarit, México, produce cerca de 18,000 ton de residuos de las 30,000 ton de mango que procesa anualmente (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012); por ello, es importante conocer alternativas para el aprovechamiento de la biomasa que genera este fruto.

La biomasa del mango es una importante fuente de carbohidratos como fibra (soluble 29% e insoluble 27%), azúcares (sacarosa 5%, fructosa 2% y glucosa 0.5%), almidón (0.3%) y pectina (15-32%). El aprovechamiento de este “desecho” podría contribuir al desarrollo económico de las regiones productoras de mango por efecto de la ley de la oferta y la demanda, ya que el precio de la pectina oscila entre los \$400 y \$1,000 pesos por kilogramo. Además, el mercado nacional de pectina en México es abastecido por empresas extranjeras, por lo que las alternativas de generación de pectina de mango se vuelven económicamente importantes (Cruz, Soares, Fabbri, Cordenunsi & Sabato, 2012; Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; Barreto *et al.*, 2017). La cáscara del mango Ataulfo representa el 14% del peso total del fruto y contiene cerca del 20% de pectina, con lo que se puede calcular que por cada tonelada de mango es factible obtener 28 kg de ese hidrocoloide, con un valor entre \$11,200 y \$28,000 pesos, que es significativamente mayor al precio medio rural del mango, de \$4,360 pesos por tonelada (SIAP, 2021).

Diversos estudios reportan en la cáscara de mango concentraciones de pectina entre 15 y 32% con buenas propiedades reológicas para su aplicación en las industrias alimenticia, cosmética y farmacéutica (Berardini *et al.*, 2005b; Barreto *et al.*, 2017; Sommano, Ounamornmas, Nisoa & Sriwattana, 2018). Las pectinas son compuestos tecno-funcionales, cuya estructura contiene una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados, lo que le confiere a este polímero propiedades espesantes, emulsificantes y estabilizantes en solución acuosa (Sommano *et al.*, 2018). Adicionalmente, algunos efectos favorables que aporta el consumo de pectina a la salud humana están asociados a su potencial anticancerígeno, hipoglucemiante e hipocolesterolémico; además de contribuir a reducir el riesgo de padecer hipertensión, obesidad y ciertos desórdenes gastrointestinales (Barreto *et al.*, 2017). La cáscara y la pulpa del mango además de presentar fibra dietética donde se agrupan las pectinas, también contienen una importante concentración de compuestos fenólicos totales con mayor capacidad antioxidante que la pulpa de la uva, la guayaba y la piña (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012).

El objetivo de este artículo es presentar la información científica disponible sobre el contenido de pectina en la cáscara de distintos cultivares de mango, sus características fisicoquímicas y parámetros de calidad. Además, se realiza una comparación de las técnicas empleadas para la extracción de pectinas en diversos materiales de estudio, con el fin de presentar las más eficientes en función a la calidad final de la pectina (grado de esterificación y porcentaje de metoxilación), rendimiento y costo. Las bases de datos utilizadas para la búsqueda de la información fueron por sus nombres en inglés *Scopus*, *PubMed*, *Web of Science*, *Science Direct* y *Google Académico*; analizando un total de 47 artículos científicos publicados en los últimos diez años con un par de excepciones y 5 páginas de internet nacionales e internacionales. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: *Mangifera indica* L., mango, cáscara de mango, pectina, pectina en cáscara de mango (mango peel pectin), extracción de pectinas (pectin extraction), compuestos bioactivos de mango (bioactive compounds of mango) y compuestos fenólicos en mango (phenolics compounds of mango).

PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MANGO

El mango es fuente de pectina, taninos y ácidos orgánicos, también contiene antioxidantes como la vitamina C, vitamina E, carotenoides y fenoles, compuestos bioactivos como la vitamina A y minerales como el hierro, fósforo, calcio, potasio y magnesio (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012). Además, este fruto contiene un compuesto comercialmente importante llamado mangiferina, utilizado con fines cosméticos, nutricionales y medicinales. En animales se ha reportado su potencial antioxidante, antiviral, antitumoral e inmunomodulador (Sethiya, Trivedi & Mishra, 2015; Forero & Pulido, 2016).

Sultana, Hussain, Asif & Munir, (2012), reportaron que el mango Ataulfo es rico en vitaminas A, C y en menor proporción de E, B y K. Además, el alto contenido y la capacidad antioxidante reportada como RSA por sus siglas en inglés, “*Radical Scavenging Capacity*” de los ácidos gálico (61% RSA), protocatéico (35% RSA), clorogénico (28% RSA) y vanílico (11% RSA) en este tipo de mango, se han relacionado con su capacidad para combatir enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Palafox-Carlos *et al.*, 2012a). Por otro lado, los cultivares de mango Nam Dok Mai y Sam Pee presentan un contenido de fenoles totales de 1,228 y 1,610 equivalentes-gramo (GE) g^{-1} de muestra, respectivamente (Sommano *et al.*, 2018). El análisis cuantitativo de un extracto etanólico de la cáscara de mango (cv. no especificado) muestra un alto contenido de ácido clorogénico ($19.8 \pm 0.31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), procianidina B2 ($12. \pm 0.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido caféico ($11.4 \pm 0.08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido gálico ($7.0 \pm 0.57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido oleanólico ($3.0 \pm 0.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y aldehído vanílico ($0.55 \pm 0.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Bai *et al.*, 2018).

También, se ha comprobado que el consumo de mango puede reducir los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, y de triglicéridos en el plasma, además de favorecer la eliminación de ácidos biliares y el crecimiento y proliferación de la flora bacteriana; esto gracias a que la cáscara posee alrededor del 29% de fibra soluble y 27% de fibra insoluble (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; Forero & Pulido, 2016). De manera general, la USDA (*United States Department of Agriculture*) (2020) reporta, entre lo más sobresaliente, para una porción de 100 g de mango fresco valores de 83.4 g de agua, 0.8 g de proteína, 0.4 g de lípidos totales, 1.6 g de fibra dietética total, 13.6 g de azúcares, 0.07 g de ácidos grasos poliinsaturados, 0.1 g de ácidos grasos monoinsaturados, 640 μg de β -caroteno, 9 μg de α -caroteno, 10 mg de Mg, 168 mg de K, 14 mg de P y 36.4 mg de ácido ascórbico, entre otros.

En relación con el contenido de pectina, se ha reportado hasta un 32% en la cáscara de mango cv. Hore Wandou mediante hidrólisis ácida con oxalato de amonio (Koubala, Kansci, Garnier, Ralet & Thibault, 2012). Deng *et al.* (2020) señalan un intervalo de 7.6 a 14.7% de pectina en la cáscara de 12 cultivares de mango de 5 países, donde el cv. Green de China fue el de mayor contenido pero menor concentración de ácido galacturónico (50%), mientras que el cv. Golek de Burma presentó un mayor grado de metoxilación y ácido galacturónico (72 y 81%). En el cv. Guifei de China se observó el menor grado de metoxilación (54%); el contenido de proteína en la pectina de la cáscara de todos los cultivares analizados se mantuvo entre 1.8 y 4.3%. Se ha sugerido que la cáscara de mango puede ser usada como fuente de pectina debido a que el contenido de humedad (10.6%), cenizas (2.4%), grupos metoxilo (8.1%) y ácido galacturónico (53%) que posee este polisacárido cumplen con los estándares de calidad de la IPPA por sus siglas en inglés, “*International Pectin Producers Association*” (Asociación Internacional de Productores de Pectina). A excepción del peso equivalente (2,690 mg) cuyo intervalo para la IPPA es de 600 a 800 mg, el cual se puede ver afectado por el tipo de planta, la calidad de la muestra o por el tipo de extracción de pectina utilizado (Indriani, Legowo & Susanti, 2017; Deng *et al.*, 2020).

IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MANGO EN MÉXICO

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos más cultivados en el mundo por su importancia económica y nutricional, además de ser el tercer fruto con mayor producción en los países tropicales. México es el principal exportador a nivel mundial y su principal mercado son los EE. UU. con 350,000 ton, para el 2019 (FAO, 2020). En el 2019, la mayor producción de mango se concentró en los estados de Sinaloa y Guerrero con 37.7% (789,568 ton), seguido por Nayarit (15.4%) y Chiapas (12.8%) (SIAP, 2021). Los 12 cultivares de mango que se producen de manera convencional en México, citados en orden de importancia

son: Ataulfo, Manila, Kent, Tommy Atkins, Haden, Criollo, Keitt, Oro, Manililla, Paraíso (petacón), Diplomático y Obo. Además, los cultivares: Haden, Tommy Atkins, Kent, Keitt y Ataulfo también se producen de forma orgánica y representan el 1.6% de la producción nacional, con una participación del 2.3% del valor total de la producción (SIAP, 2021). El mango mexicano se puede cosechar de febrero a agosto con su máxima producción en junio y julio, donde se inicia de sur a norte en las principales regiones productoras de Chiapas con Ataulfo y termina en Sinaloa con Keitt. En los meses de mayo-julio se pueden obtener mangos Ataulfo, Haden, Tommy Atkins, Kent y Keitt; todos ellos con excelentes características de calidad y aceptación en el mercado de exportación (EMEX, 2021).

Pérdidas postcosecha y desechos agroindustriales del mango

Durante el manejo postcosecha se desperdicia en México aproximadamente el 40% de la producción de mango. En los principales estados productores como: Guerrero y Sinaloa, las pérdidas postcosecha de esta fruta alcanzan el 25 y 30% respectivamente, mientras que las ocasionadas por patógenos oscilan entre el 17 y el 36% (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; Ariza-Flores *et al.*, 2018; Astudillo-Miller, Astudillo, Segura-Pacheco & Maldonado, 2020). Aunque la mayor parte de la producción nacional de mango se comercializa en fresco, el porcentaje que se destina a la industrialización (13.5 al 16%), genera importantes problemas de contaminación ambiental por los desechos de cáscara y semilla que alcanzan del 32 al 50% del peso total del mango procesado, sin mencionar las pérdidas que generan los frutos que no cumplen con la calidad comercial (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; Wall-Medrano *et al.*, 2015; Mercado *et al.*, 2018; San Martín-Hernández *et al.*, 2020). El aprovechamiento y transformación de los desechos del mango podría contribuir al desarrollo económico de las regiones productoras de este cultivo. De manera que conocer con detalle las características nutrimentales, funcionales y nutraceuticas de la cáscara de mango son algunas de las propiedades que pueden agregarle un valor económico a este producto.

USO POTENCIAL DE LA CÁSCARA DE MANGO SOBRE LA SALUD HUMANA

Tanto la pulpa de mango como su cáscara representan una fuente de compuestos con potencial nutraceutico, no solo por su excelente contenido de fenoles y de fibra, sino también por su efecto sobre el tratamiento de ciertas patologías y por su valor funcional y nutricional (Wall-Medrano *et al.*, 2015). Además, diversos estudios han evaluado la capacidad antiproliferativa tanto *in vitro* como *in vivo*, de compuestos fenólicos como el ácido gálico y los galotaninos presentes en el mango, contra distintos tipos de cáncer (colon, páncreas, mama, pulmón, próstata e hígado) (Luo *et al.*, 2014).

Además, se han reportado concentraciones significativas de polifenoles y compuestos antioxidantes en la cáscara del mango Ataulfo, así como pectina de buena calidad y con buen rendimiento de extracción (Palafox-Carlos *et al.*, 2012b; Barreto *et al.*, 2017). Sáyago-Ayerdi, Zamora-Gasga & Venema, (2019) determinaron el potencial prebiótico de la cáscara de mango Ataulfo predigerida en un modelo dinámico *in vitro* del colon humano (TIM-2), en el que identificaron 80 géneros bacterianos después de la fermentación de la cáscara. Se concluyó que la cáscara de mango puede promover el crecimiento de *Bifidobacterium* con un máximo a las 24 h de fermentación, mientras que a las 72 h favoreció el crecimiento de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*.

Por otro lado, Bai *et al.* (2018) evaluaron la actividad antioxidante *in vitro* de los fenoles y el ácido oleanólico extraídos de la cáscara de mango de un cultivar no especificado, y su efecto citotóxico sobre la línea celular A549. Estas pruebas revelaron una concentración inhibitoria media de 15 mg mL⁻¹ para el extracto de la cáscara de mango, mientras que el ácido oleanólico exhibió la citotoxicidad más fuerte, con un valor IC50 de 4.7 μM, mostrando un efecto similar al 5-fluorouracilo (3.8 μM) usado como control positivo. Estos resultados fueron confirmados con las variaciones morfológicas de los núcleos de las células A549 teñidas con el marcador fluorescente 4',6-diamidino-2-fenilindol (DAPI), mostrando una débil fluorescencia azul las células tratadas con ácido cafeico, oleanólico y clorogénico. Lo anterior, confirma un efecto citotóxico de estos compuestos, a diferencia del ácido gálico y del extracto de la cáscara de mango que presentaron una baja actividad antiproliferativa indicada por una fuerte fluorescencia (Bai *et al.*, 2018).

También, se ha analizado el perfil químico de la cáscara de diferentes cultivares de mango en Pakistán como Chaunsa, Anwar ratol, Langra, Dusahri y Desi, encontrando un porcentaje de fibra de 5.0 ± 0.25, 5.5 ± 0.31, 4.9 ± 0.12, 4.7 ± 0.17 y 4.5 ± 0.18, respectivamente (Cuadro I). Asimismo, se reportó un contenido de fenoles totales en un intervalo de 75.3 a 87.7 mg EAG·100g⁻¹ (equivalentes de ácido gálico) extraídos a partir de la cáscara de las variedades mencionadas anteriormente, así como un perfil mineral (K, Mg, Ca, Na, Cr, Cu, Fe y Mn) que presentó diferencias significativas entre algunos cultivares. Se concluyó que la cáscara de mango es una fuente potencial de minerales, fibra y antioxidantes (Imran, Butt, Anjum & Sultan, 2013).

Quintana-Obregón, Martín-Hernández, Muy-Rangel & Vargas-Ortiz, (2019) realizaron un análisis proximal y analizaron el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante del polvo de la cáscara de los mangos: Ataulfo, Keitt y Tommy Atkins con el fin de darle un valor agregado como alternativa para la generación de alimentos funcionales.

Cuadro I. Composición proximal de la cáscara de mango en peso seco de distintos cultivares.

Cultivar	Humedad	Sólidos Totales	Azúcares reductores	Azúcares no reductores	Proteína	Celulosa y Lignina
¹ Totapuri	12.6 ± 1.7	73.4 ± 1.5	34.3 ± 2.3	4.4 ± 0.2	5.2 ± 0.6	24.7 ± 0.9
³ nd	10.0 ± 1.2	70.5 ± 2.7	30.0 ± 2.5	4.3 ± 0.5	4.0 ± 0.8	23.0 ± 1.2
³ nd*	70.0 ± 5.0	25.6 ± 4.6	7.0 ± 1.8	5.9 ± 0.4	3.5 ± 0.5	25.2 ± 2.0
Cultivar	% de humedad		% de cenizas		% de fibra	
² Chaunsa	70.7 ± 4.0		2.6 ± 0.03		5.0 ± 0.2	
² Anwar Ratol	71.0 ± 3.9		2.3 ± 0.02		5.5 ± 0.3	
² Langra	69.9 ± 5.2		2.2 ± 0.2		4.9 ± 0.1	
² Dusehri	68.3 ± 4.1		2.0 ± 0.12		4.7 ± 0.2	
² Desi	71.4 ± 2.0		1.8 ± 0.02		4.5 ± 0.2	
⁴ Tommy Atkins	nd		2.8 ± 0.01		13.8 ± 0.7	
⁴ Badami*	75.2 ± 0.2		1.3 ± 0.1		7.4 ± 0.2	
⁴ Raspuri*	72.5 ± 0.5		1.2 ± 0.14		5.8 ± 0.1	
⁵ Chok Anan	33.2 ± 2.3		4.4 ± 0.0		8.6 ± 0.3	
⁵ Mahachanok	31.5 ± 2.5		4.2 ± 0.1		12.6 ± 0.2	
⁵ Nam Dok Mai	37.1 ± 0.3		3.9 ± 0.4		11.5 ± 0.5	
⁵ Rad	39.5 ± 2.0		3.9 ± 0.1		10.4 ± 0.1	
⁵ Sam Pee	42.6 ± 5.4		5.2 ± 0.0		16.7 ± 0.4	
⁵ Tar Lub Nak	31.3 ± 3.7		3.5 ± 0.1		15.5 ± 0.4	
⁵ Keaw	35.3 ± 2.0		4.4 ± 0.0		11.4 ± 0.2	
⁶ Ataulfo [†]	7.0 ± 0.4		2.1 ± 0.04		15.2 ± 3.2	
⁶ Keitt [†]	6.7 ± 0.1		2.1 ± 0.1		9.7 ± 4.9	
⁶ Tommy Atkins [†]	8.6 ± 0.1		2.2 ± 0.1		16.5 ± 0.3	

Elaborada con datos de: ¹Kumar *et al.*, 2012; ²Imran *et al.*, 2013; ³Puligundla *et al.*, 2014; ⁴Serna-Cock, García-González & Torres León, 2016; ⁵Sommano *et al.*, 2018; ⁶Quintana-Obregón *et al.*, 2019. nd = sin datos. *Base húmeda. [†] Polvo de pericarpio de mango.

El polvo de la cáscara del mango Ataulfo presentó un mayor contenido de fenoles totales (7578 mg de EAG·100g⁻¹) y una mayor capacidad antioxidante (34,811 μmol ET·g⁻¹). El contenido de fenoles totales en el cv. Keitt y el Tommy Atkins fue de 5,228 y 3,857 mg de EAG·100g⁻¹ respectivamente, mientras que la capacidad antioxidante que mostraron estos dos cultivares fue de 27,256 y 23,270 μmol ET·g⁻¹. La proporción de fibra soluble se mantuvo entre 19.2 y 23.8% y el contenido de fibra insoluble fue del 9.7 al 16.5%. De acuerdo con los resultados, el polvo de la cáscara de los tres cultivares puede adicionarse en la formulación de alimentos y bebidas para complementar el contenido nutricional y funcional de los mismos gracias a su capacidad antioxidante y contenido de fibra.

Extracción de compuestos bioactivos en la cáscara de mango

Recientemente, se ha evaluado el efecto de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) en la liberación y

bioaccesibilidad *in vitro* de carotenoides contenidos en bebidas elaboradas con mango Ataulfo, resultando en un incremento en la bioaccesibilidad de carotenos y xantofilas, cuya eficiencia dependió de las condiciones de extracción. EAU1 (X_{TE}: 30 min, H_{AS}: 30%, X_C: 0.8) presentó una mayor bioaccesibilidad de luteína (95.63%), zeaxantina (56.88%), α-caroteno (58.68%) y β-caroteno (90.54%), mientras que con EAU3 (X_{TE}: 12 min, H_{AS}: 100%, X_C: 1) se cuantificó una mayor retención de zeaxantina (92.3%); lo que sugiere que esta técnica puede ser una alternativa viable para extraer y aumentar la bioaccesibilidad de este tipo de compuestos en los frutos de mango (Mercado *et al.*, 2018). En otro estudio, Sommano *et al.* (2018) caracterizaron la pectina extraída de la cáscara de mango del cultivar Sam-Pee, mediante dos métodos de extracción: el convencional y el de control de fase asistida por microondas (PCEAM, por sus siglas en inglés), con un mayor rendimiento, a 500 W, con PCEAM (10.5%), en comparación con el método convencional de extracción (8.8%).

Berardini, Knödler, Schieber & Carle, (2005a) proponen la recuperación combinada de pectina y compuestos fenólicos a partir de la cáscara obtenida durante la producción del puré de mango cv. Tommy Atkins donde se utilizó como adsorbente una resina co-polimerizada de estireno-divinilbenceno en dos etapas. Los autores reportaron un contenido total de polifenoles de $129.4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en el proceso I y $71 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en el proceso II, también que los perfiles de polifenoles fueron casi idénticos antes y después de la adsorción. Esto, revela que durante la precipitación de la pectina no hay una adsorción preferencial de los compuestos fenólicos hacia ella. Además, se observó que la adsorción de los compuestos fenólicos no afecta el color de la pectina extraída de la cáscara de mango, solo ligeros incrementos de la luminosidad, una disminución del valor cromático y del ángulo de matiz del color del producto, a diferencia de la pectina de orujo de manzana que presenta una coloración marrón considerada de menor calidad.

Con el fin de proponer el valor agregado a la cáscara de mango como ingrediente funcional, se evaluaron los métodos de extracción por fluido supercrítico (SFE) y por líquido presurizado (PLE), para obtener compuestos bioactivos a partir de la cáscara del mango brasileño cv. Tommy Atkins. El mayor rendimiento y concentración del ácido gálico se logró por PLE ($50 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 MPa y $6.67 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ de agua Milli-Q). Sin embargo, el proceso por SFE ($50 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 MPa y 20% de etanol) permitió obtener una mayor concentración de casi todos los compuestos analizados (mangiferina, quercetina, ácido elágico) a excepción del ácido gálico que debido a su alta hidrosolubilidad fue mayor en PLE, pero no se detectó quercetina con este método de extracción (Sánchez-Mesa, Sepúlveda-Valencia, Ciro-Velásquez & Meireles, 2020).

IMPORTANCIA TECNO-FUNCIONAL DE LAS PECTINAS
Sarmiento (2012), señala que “las propiedades tecno-funcionales” son propiedades fisicoquímicas que proporcionan información sobre cómo un ingrediente en particular podría comportarse en una matriz alimentaria. En la última década los productos naturales han adquirido una elevada importancia gracias a los múltiples beneficios que aportan a la salud, uno de estos compuestos es la pectina, que es uno de los componentes mayoritarios de la pared celular de la cáscara de las frutas y de los vegetales (Montoya & Gómez, 2011; Flores *et al.*, 2013). Este polisacárido natural está formado principalmente por unidades de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glucosídicos α (1-4) que pueden estar aleatoriamente acetiladas y/o metiladas y ramificaciones de ramnogalacturonanos tipo I (formados por unidades de ramnosa y ácido galacturónico ramificado con arabinanos, galactanos y arabinogalactanos) y ramnogalacturonanos tipo II (formados por ácido galacturónico con un patrón complejo de ramificaciones) (Figura 1) (Gullón *et al.*, 2013; Barreto *et al.*, 2017).

La pectina es un compuesto tecno-funcional gracias a sus propiedades reológicas, por lo que se utiliza ampliamente en las industrias cosmética, farmacéutica y alimenticia en la elaboración de mermeladas, bebidas, conservas, salsas, yogures, jugos, helados, repostería, entre otros. Su característica principal es que actúa como gelificante natural, además de presentar propiedades espesantes, emulsificantes y estabilizantes en solución acuosa al tratarse de un hidrocoloide (Flores *et al.*, 2013; Sommano *et al.*, 2018; San Martín-Hernández *et al.*, 2020). Considerando la alta importancia industrial y económica de la pectina, es necesario aplicar métodos de extracción que proporcionen un mayor rendimiento, sin comprometer la calidad del producto, definida principalmente por el grado de metoxilación y el poder gelificante (Urango-Anaya, Ortega-Quintana, Vélez-Hernández & Pérez-Sierra, 2018).

Técnicas empleadas para la extracción de pectina

Para extraer la pectina contenida en los tejidos vegetales se conocen diversas técnicas como: la hidrodestilación, la enzimática, por fluidos supercríticos y la extracción por arrastre de vapor; sin embargo, la más utilizada a nivel industrial es la extracción por hidrólisis ácida, con ácido sulfúrico, fosfórico, cítrico, nítrico o clorhídrico, con temperaturas cercanas a los $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y tiempos relativamente largos de 1-3 h. Sin embargo, estas condiciones de extracción disminuyen el rendimiento y calidad de la pectina extraída, debido a la degradación térmica de sus proteínas (Sánchez-Aldana, Aguilar-González, Contreras-Esquivel & Nevárez-Moorillón, 2011; Barreto *et al.*, 2017; Juárez-Bereche, 2018; Urango-Anaya *et al.*, 2018).

La extracción asistida por microondas (EAM) se ha empleado recientemente para separar la pectina contenida en distintos frutos. En la cáscara de mango de distintos cultivares tailandeses, se han logrado buenos resultados en la reducción de los tiempos del proceso de extracción, así como un aumento en el rendimiento de la pectina extraída, con una buena calidad basada en su grado de esterificación (56 a 93%) y contenido de grupos metoxilo (7 a 41%) (Sommano *et al.*, 2018; Urango-Anaya, 2018). En otro estudio Sánchez-Aldana *et al.* (2011), proponen el uso de esta técnica para la obtención de pectina a partir de frutas, al resultar más eficiente en cuanto a rendimiento, calidad y tiempos de extracción, en comparación con los métodos convencionales.

El fundamento de la extracción asistida por microondas se basa en el uso de la energía de radiación para lograr que la pectina pase de la muestra al disolvente, con la ventaja de que esta técnica requiere un menor volumen de disolvente y facilita controlar parámetros como el tiempo y la temperatura que influyen en la eficacia de la extracción (Seixas *et al.*, 2014). Con esta técnica se obtuvo a partir de la cáscara de maracuyá un rendimiento de pectina en un intervalo del 48 al

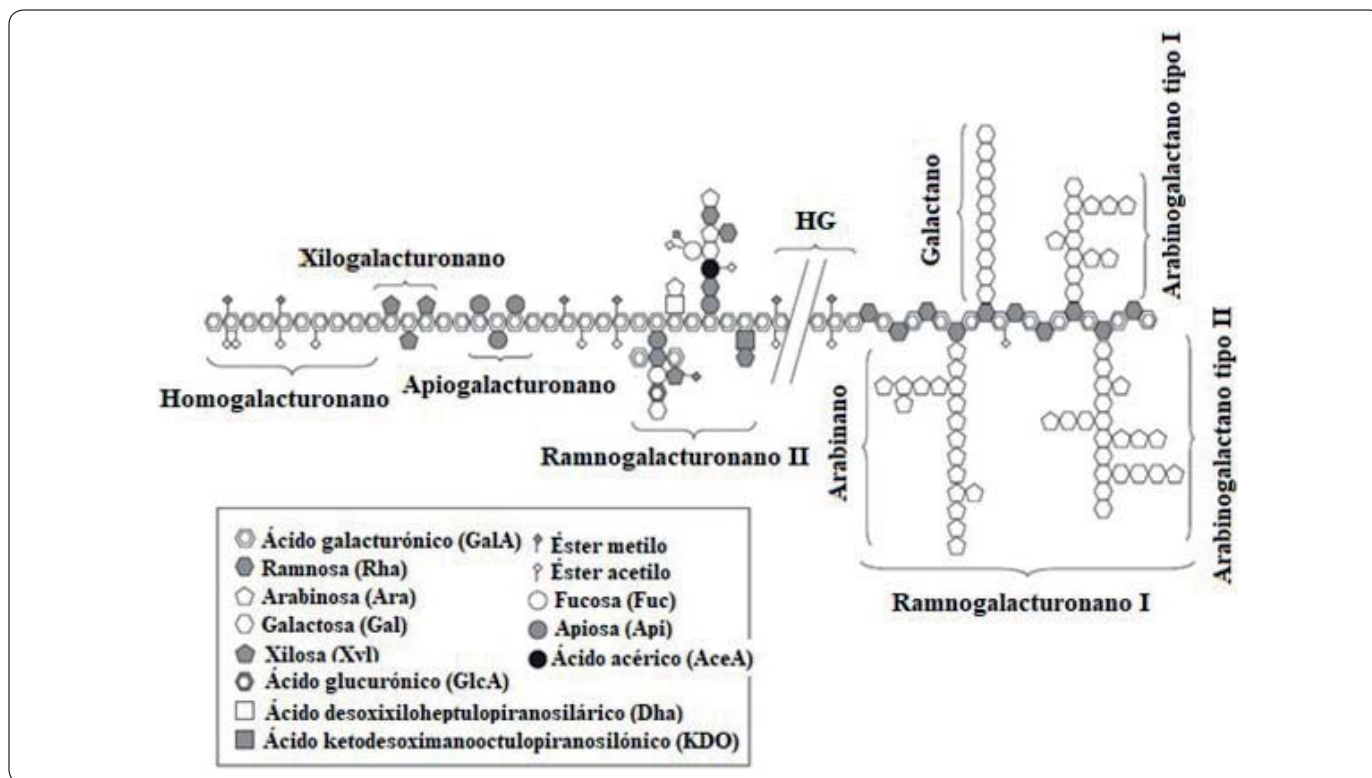


Figura 1. Estructura de pectina simplificada (modificado de Gullón *et al.*, 2013).

69% en base húmeda, donde el mayor rendimiento se logró al aplicar una potencia de microondas de 1,000 W durante 100 segundos, con HCl 0.24 N, mientras que el menor rendimiento fue a 600 W durante 60 segundos, con HCl 0.12 N (Urango-Anaya, 2018). Estos rendimientos fueron mayores que lo reportado por Liew, Chin & Yusof (2014), quienes obtuvieron un rendimiento entre 2 y 14% de pectina a partir de la cáscara de maracuyá, utilizando como método de extracción la hidrólisis ácida con distintos pH y con tiempos más prolongados de hasta 120 minutos.

Por otro lado, el porcentaje de pectina extraída de la cáscara de mango cultivar Sam-Pee empleando la extracción asistida por microondas, fue de 8.6 y 10.5% utilizando 900 y 500 W, respectivamente. Mostrando este último un mayor rendimiento que el obtenido por métodos de extracción convencionales (8.8%), que es relativamente bajo al compararlo con la cantidad de pectina presente en la cáscara de mango del cultivar Ameliore con el 10% (Sommano *et al.*, 2018). Cabe mencionar que el contenido de pectina y otros compuestos presentes en la cáscara de mango está influenciado por distintos factores físicos, químicos y biológicos, como la variedad, estado de madurez, clima, factores pre y poscosecha, entre otros (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; Deng *et al.*, 2020).

Investigadores de la Universidad de Chiang Mai en Tailandia, caracterizaron y compararon la pectina de la cáscara de mango deshidratada a 60 °C del cv. Nam Dok Mai extraída mediante un método convencional y EAM, alcanzando este último un rendimiento del 14% al aplicar una potencia de 700 W durante 3 minutos. Esto fue significativamente mayor que el rendimiento obtenido por el método de calentamiento convencional con 1%, dicha diferencia puede explicarse, ya que la energía de microondas influye en la inactivación de la pectinasa, enzima clave en la degradación de la pectina. El grado de esterificación de la pectina extraída por EAM fue de 77.2% y un contenido de grupos metoxilo de 19.3% (Wongkaew, Sommano, Tangpao, Rachtanapun & Jantanasakulwong, 2020).

Aprovechamiento de la cáscara de mango como fuente de pectina

En la última década el mercado mundial de pectina ha mostrado un incremento anual del 6%, produciendo actualmente alrededor de 40,000 ton con un valor de \$319 millones de dólares (Sundarraaj & Ranganathan, 2017). En México, el mercado nacional de pectina es abastecido por dos empresas extranjeras, la norteamericana “Hércules de México” y la transnacional “Danisco” de origen danés con presencia en más de cuarenta países; por lo que prácticamente la pectina que se

consume en el país es de importación, lo que refleja un déficit comercial de la misma. Por ello, la biomasa del mango como fuente de pectina y apropiados métodos de extracción serían alternativas de valor agregado para una demanda garantizada (Barreto *et al.*, 2017).

Actualmente, las principales fuentes de pectina son las cáscaras de cítricos (85%), pulpa de manzana (14%) y remolacha de azúcar (1%) con rendimientos de extracción de 20-35%, 10-15% y 10-20% respectivamente. En el caso de las pectinas cítricas el 56% se obtiene a partir del limón, el 30% de las limas y el 13% se extrae de la cáscara de naranja (Flores *et al.*, 2013; Ciriminna, Fidalgo, Delisi, Ilharco & Pagliaro, 2016; Sundarraj & Ranganathan, 2017). Por otro lado, diversos autores reportan rendimientos de extracción de pectina del 15.4 al 31.7% en la cáscara de 15 cultivares de mango, lo que es mayor a lo reportado en la pulpa de manzana y la remolacha de azúcar, y similar a lo reportado en la cáscara de los cítricos, esto demuestra que la cáscara de mango es una buena fuente de pectina (Cuadro II) y que representa una alternativa a las pectinas descritas anteriormente (Koubala *et al.*, 2012; Kumar & Reddy, 2012; Puligundla, Mok, Oh & Obulam, 2014; Davara, Dabhi, Rathod & Bhatu, 2017; Sommano *et al.*, 2018). Asimismo, la pectina de la cáscara de mango Ataulfo presenta un espectro infrarrojo similar al de la pectina obtenida a partir de los residuos de cítricos, además de mostrar picos característicos con frecuencias e intensidades equiparables a la pectina de grado analítico (San Martín-Hernández *et al.*, 2020).

Juárez-Bereche (2018) caracterizó la pectina de la cáscara de mango cultivar Edward, extraída por hidrólisis ácida bajo distintas condiciones de pH, tiempo y temperatura; con rendimientos de 2.4 a 22.6 gramos de pectina por kilogramo

de cáscara. Las características fisicoquímicas de esta pectina se mantuvieron dentro de los estándares internacionales, con un grado de esterificación del 82%, un contenido de grupos metoxilo del 12% y un 82% de ácido galacturónico. En el caso de la cáscara de “mango de azúcar maduro”, se ha reportado que el contenido de pectina es de 15.3% y que sus características de calidad son superiores a las de origen comercial (Merck) con la que fue comparada, esto de acuerdo con los estándares de la farmacopea de los Estados Unidos (*United States Pharmacopeia*, USP). La pectina presentó 4.5% de humedad, un contenido de metoxilo de 12%, un grado de esterificación del 82% y un 82% de ácido galacturónico (Barreto *et al.*, 2017).

En otro estudio realizado en Alemania, se analizó el contenido y grado de esterificación de la pectina extraída de la cáscara de 14 cultivares de mango (Cuadro III) originarios de 7 países (Brasil, Tailandia, Perú, Colombia, Australia, La Reunión y Kenia). Se reportó un contenido del 12 al 21% de pectina de alta calidad en los cultivares analizados, con un alto grado de esterificación del 56 al 66%. Los cultivares que presentaron un mayor contenido de pectina fueron Ngowe (Kenia), Manila (Tailandia) y Tommy Atkins (Brasil) con 21.2, 19.8 y 19.6%, respectivamente (Berardini *et al.*, 2005b).

También, se ha reportado el contenido de pectina extraída por hidrólisis ácida a partir de la cáscara de 7 cultivares de mangos tailandeses enlistados por rendimiento de extracción: Rad (22.4%), Sam Pee (8.8%), Tar Lub Nak (7.1%), Mahachanok (3.5%), Chok Anan (3.3%), Keaw (1%) y Nam Dok Mai (0.8%). Estas pectinas presentaron una actividad antioxidante (DPPH) similar, entre 84 y 91%, a excepción de la del cv. Keaw cuya actividad antioxidante fue de 54.5% (Sommano *et al.*, 2018).

Cuadro II. Contenido de pectina en distintos frutos y sus métodos de extracción.

Materia prima	Contenido de pectina (%)	Método de extracción	Fuente
Pulpa de durazno	7.0	Hidrólisis ácida	Faravash & Ashtiani, 2007
Pulpa de manzana	9.7	Hidrólisis ácida	Canteri-Schemin, Ramos, Waszczynskyj & Wosiacki, 2005
Cáscara de naranja	8.8	Hidrólisis ácida	Kute, Mohapatra, Kotwaliwale, Giri & Sawant, 2020
Cáscara de naranja	15.8	Microondas	Kute <i>et al.</i> , 2020
Cáscara de mango	26.3	Hidrólisis ácida	Koubala <i>et al.</i> , 2012
Cáscara de mango	31.8	Hidrólisis ácida/oxalato de amonio	Koubala <i>et al.</i> , 2012
Cáscara de maracuyá	2-14	Hidrólisis ácida	Liew <i>et al.</i> , 2014
Cáscara de maracuyá	48-69	Microondas	Urango-Anaya <i>et al.</i> , 2018
Calabaza	22.0	Enzimático	Ptichkina, Markina & Rummyantseva, 2008
Pulpa de limón	25.0	Hidrólisis ácida	Gullón <i>et al.</i> , 2013

Cuadro III. Contenido de pectina en la cáscara de mango de distintos cultivares.

Cultivar	% de pectina	País de origen	Fuente
Hore Wandou	31.8	Camerún	Koubala <i>et al.</i> , 2012
Rad	22.4	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Ngowe	21.2	Kenia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
nd	21.0	Pakistán	Puligundla <i>et al.</i> , 2014
Manila	19.8	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Tommy Atkins	19.6	Brasil	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Totapuri	18.2	India	Kumar <i>et al.</i> , 2012
José	17.9	La Reunión	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Haden	17.8	Perú	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Kaew	16.4	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
R2E2	16.3	Australia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Minimango	16.2	Colombia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Kent	15.8	Brasil	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Banginapalli	15.6	India	Kumar <i>et al.</i> , 2012
Kesar	15.4	India	Davara <i>et al.</i> , 2017
Sugar	15.3	Colombia	Barreto <i>et al.</i> , 2017
Green	14.7	China	Deng <i>et al.</i> , 2020
Jin Hwang	14.6	Vietnam	Deng <i>et al.</i> , 2020
Green	14.3	Vietnam	Deng <i>et al.</i> , 2020
Neelam	14.1	India	Kumar <i>et al.</i> , 2012
Heidi	14.0	Perú	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Green	13.4	Tailandia	Deng <i>et al.</i> , 2020
Nam Dok Mai	13.8	Tailandia	Wongkaew <i>et al.</i> , 2020
Narcissus	12.4	Tailandia	Deng <i>et al.</i> , 2020
Mahachanok	12.9	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Mon Duen Gao	12.8	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Chok Anan	12.8	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Irwin	12.2	China	Deng <i>et al.</i> , 2020
Nam Dok Mai	12.2	Tailandia	Berardini <i>et al.</i> , 2005b
Jin Hwang	11.5	China	Deng <i>et al.</i> , 2020
Guifei	11.4	China	Deng <i>et al.</i> , 2020
Golek	11.0	Burma	Deng <i>et al.</i> , 2020
Sindhoora	10.5	India	Kumar <i>et al.</i> , 2012
Sam Pee	10.5	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Ameliore	10.0	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Sundiro	9.2	Burma	Deng <i>et al.</i> , 2020
Australian	9.0	Australia	Deng <i>et al.</i> , 2020
Sam Pee	8.8	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Jin Hwang	7.6	Tailandia	Deng <i>et al.</i> , 2020
Tar Lub Nak	7.1	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Rumani	6.0	India	Kumar <i>et al.</i> , 2012
Mahachanok	3.5	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Chok Anan	3.3	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Edward	2.2	Perú	Juárez-Bereche, 2018
Keaw	1.0	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018
Nam Dok Mai	0.8	Tailandia	Sommano <i>et al.</i> , 2018

Puligundla *et al.* (2014) obtuvieron un rendimiento máximo de pectina del 21% en la cáscara de mango de Pakistán, extraída por hidrólisis con ácido sulfúrico a un pH de 2.5 y 80 °C, durante 120 min. También, se ha logrado un alto contenido de pectina en la cáscara de distintos cultivares de mango en la India, donde la mayor concentración fue el cv. Totapuri con 18.2%, seguido de los cultivares Banginapalli (15.6%), Neelam (14.1%), Sindhoora (10.5%) y Rumani (6%) (Kumar *et al.*, 2012). En la cáscara de mango del cultivar Hore Wandou de Camerún se emplearon distintos disolventes para la extracción de la pectina con un rendimiento del 12.5% (agua), 26.3% (HCl 0.03 M) y 31.8 % (ácido oxálico/oxalato de amonio). Adicionalmente, estas pectinas mostraron una mejor capacidad gelificante que las obtenidas de cítricos (Koubala *et al.*, 2012).

Además de los estudios previamente mencionados, otra variedad de mango que ha sido analizada es el cv. Kesar, procesado ampliamente por la industria de frutas en Gujarat, India, reportándose un contenido del 15.4% de pectina en la cáscara de los frutos, con un buen grado de gelificación y un contenido de grupos metoxilo del 4%, es considerada como pectina de alto metoxilo (Davara *et al.*, 2017). A diferencia de la pectina obtenida de la cáscara deshidratada de mango Ataulfo (80 °C por 6 h), que presenta un rendimiento del 5.4% con un 6.4% de grupos metoxilo y un grado de esterificación del 46%, por lo que se cataloga como de bajo metoxilo (San Martín-Hernández *et al.*, 2020). Este bajo grado de esterificación se debe a que los autores utilizaron mangos en “madurez de consumo” (No. 5 en la escala de color de la pulpa) con óptima calidad sensorial (NMX-FF-058-SCFI-2006), ya que al avanzar la madurez de los frutos las pectinasas hidrolizan los enlaces ésteres y depolimerizan la pectina (Geerkens *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

La cáscara de al menos 27 cultivares de mango contienen pectina de calidad definida por su grado de esterificación y por su contenido de grupos metoxilo entre otras características fisicoquímicas, esto en comparación con pectinas comerciales y de acuerdo con los estándares de la farmacopea de los Estados Unidos (*United States Pharmacopeia*). Además, con la extracción asistida por microondas se obtiene un mayor rendimiento de pectina que al usar los métodos convencionales de extracción, lo que permitiría darle un valor agregado a la cáscara de mango, hoy considerada como “desecho”; sin embargo, la implementación de este método aún no está técnicamente desarrollada para su aplicación a nivel industrial. Cabe señalar que esta técnica permite reducir considerablemente los tiempos y las temperaturas empleadas en el proceso de extracción de la pectina, lo que puede traducirse en un menor costo de producción, aunque es necesario hacer un análisis de viabilidad que confirme

esta aseveración. De modo que la obtención de la pectina a partir de la cáscara de mango podría contribuir al desarrollo económico de las regiones productoras de este fruto, a minimizar el impacto ambiental que generan los desechos industriales, incrementar las utilidades de la industria del mango, lograr mayor redituabilidad, así como contribuir a su producción industrial y reducir a largo plazo la importación de este producto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A. C.) unidad Culiacán, Sinaloa, México por permitirnos usar sus instalaciones y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero (FORDECYT, # 292474) para la realización de este artículo.

REFERENCIAS

- Ariza-Flores, R., Michel-Aceves, A., Barrios-Ayala, A., Otero-Sánchez, M. O., Avendaño-Arrazate, C. H. & López-López, P. S. (2018). Thermal treatment for controlling canker (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz & Sacc) and improving the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo. *Agroproductividad*, **11(1)**, 72-79.
- Astudillo-Miller, M. X., Astudillo, R. I., Segura-Pacheco, H. R. & Maldonado, Y. P. (2020). Cadenas de comercialización de mango y potencial exportador en la Costa Grande, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **11(1)**, 111-124. DOI: 10.29312/remexca.v11i1.1769.
- Bai, X., Lai, T., Zhou, T., Li, Y., Li, X. & Zhang, H. (2018). *In vitro* antioxidant activities of phenols and oleanolic acid from mango peel and their cytotoxic effect on A549 cell line. *Molecules*, **23(6)**, 1395. DOI: 10.3390/molecules23061395.
- Barreto, G. E., Púa, A. L., De Alba, D. D. & Pión, M. M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.). *Temas Agrarios*, **22(1)**, 79-86.
- Berardini, N., Knödler, M., Schieber, A. & Carle, R. (2005a). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **6(4)**, 442-452. DOI: 10.1016/j.ifset.2005.06.004.
- Berardini, N., Fezer, R., Conrad, J., Beifuss, U., Carle, R. & Schieber, A. (2005b). Screening of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol O- and xanthone C-glycosides, anthocyanins, and pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53(5)**, 1563-1570. DOI: 10.1021/jf0484069.
- Canteri-Schemin, M. H., Ramos, F. H., Waszczynskij, N. & Wosiacki G. (2005). Extraction of pectin from

- apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **48(2)**, 259-266. DOI: 10.1590/S1516-89132005000200013.
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Ilharco L. M. & Pagliaro, M. (2016). Pectin production and global market. *Agro Food Industry Hi Tech*, **27(5)**, 17-20.
- Cruz, J. N., Soares, C. A., Fabbri, A. D., Cordenunsi, B. R. & Sabato, S. F. (2012). Effect of quarantine treatments on the carbohydrate and organic acid content of mangoes (cv. Tommy Atkins). *Radiation Physics and Chemistry*, **81(8)**, 1059-1063. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2012.02.026.
- Davara, P. R., Dabhi, M. N., Rathod, P. J. & Bhatu, H. (2017). Isolation of pectin from Kesar mango peel using cation exchange resin. *Advances in Food Science and Engineering*, **1(1)**, 28-38.
- Deng, Z., Pan, Y., Chen, W., Chen, W., Yun, Y., Zhong, Q., Zhang, W. & Chen, H. (2020). Effects of cultivar and growth region on the structural, emulsifying and rheological characteristic of mango peel pectin. *Food Hydrocolloids*, **103**, 105707. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105707.
- EMEX. (2021). Empacadoras de Mango de Exportación. Disponible en <https://www.mangoemex.com/exportacion-importacion-de-mango-de-mexico/> (consultado en mayo de 2021).
- FAO. (2020). Major tropical fruits preliminary market results 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Rome, Italy. Disponible <http://www.fao.org/publications/card/es/c/CA7566EN/> (consultado en mayo de 2021).
- Faravash, R. S. & Ashtiani, F. Z. (2007). The effect of pH, ethanol volume and acid washing time on the yield of pectin extraction from peach pomace. *International Journal of Food Science & Technology*, **42(10)**, 1177-1187. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01324.x.
- Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B. & Rodríguez, D. S. (2013). Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir de cáscara de limón francés (*Citrus medica*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Agroindustrial Science*, **3(2)**, 77-89.
- Forero, L. F. & Pulido, D. A. (2016). Extraction, purification and quantification of mangiferin in the bark of some mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, **10(2)**, 292-300. DOI: 10.17584/rch.2016v10i2.5652.
- Geerkens, C. H., Nagel, A., Just, K. M., Miller-Rostek, P., Kammerer, D. R., Schweiggert, R. M. & Carle, R. (2015). Mango pectin quality as influenced by cultivar, ripeness, peel particle size, blanching, drying, and irradiation. *Food Hydrocolloids*, **51**, 241-251. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.05.022.
- Guerrero, R. A. & Campos, C. M. (2014). Estimación teórica del proceso de transformación del mango (*Mangifera indica*) y aprovechamiento de sus subproductos en los municipios de Chicoral, Espinal y Gualanday del Tolima. Tesis de ingeniería. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CEAD, 109 págs. Bogotá, Colombia.
- Gullón, B., Gómez, B., Martínez-Sabajanes, M., Yáñez, R., Parajó, J. C. & Alonso, J. L. (2013). Pectic oligosaccharides: Manufacture and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, **30(2)**, 153-161. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.01.006.
- Imran, M., Butt, M. S., Anjum, F. M. & Sultan, J. I. (2013). Chemical profiling of different mango peel varieties. *Pakistan Journal of Nutrition*, **12(10)**, 934-942.
- Indriani, R., Legowo, A. M. & Susanti, S. (2017). Characteristics of pectin isolated from mango (*Mangifera indica*) and watermelon (*Citrullus vulgaris*) peel. *Journal of Applied Food Technology*, **4**, 31-34.
- Juárez-Bereche, M. (2018). Extracción de pectina de cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) de variedad Edward y su aplicación en la elaboración de mermelada, Chulucanas-Piura. 103-109. Tesis de ingeniería. Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ingeniería Agraria, Chulucanas, Piura, Perú.
- Koubala, B. B., Kansci, G., Garnier, C., Ralet, M. C. & Thibault, J. F. (2012). Mango (*Mangifera indica*) and ambarella (*Spondias cytherea*) peel extracted pectins improve viscoelastic properties of derived jams. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, **12(3)**, 6200-6212.
- Kumar, Y. S., Kumar, P. V. & Reddy, O. V. (2012). Pectinase production from mango peel using *Aspergillus foetidus* and its application in processing of mango juice. *Food Biotechnology*, **26(2)**, 107-123. DOI: 10.1080/08905436.2012.670830.
- Kute, A. B., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S. K. & Sawant, B. P. (2020). Characterization of pectin extracted from orange peel powder using microwave-assisted and acid extraction methods. *Agricultural Research*, **9(2)**, 241-248. DOI: 10.1007/s40003-019-00419-5.
- Liew, S. Q., Chin, N. L. & Yusof, Y. A. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **2**, 231-236. DOI: 10.1016/j.aaspro.2014.11.033.
- Luo, F., Fu, Y., Xiang, Y., Yan, S., Hu, G., Huang, X., Huang, G., Sun, C., Li, X. & Chen, K. (2014). Identification and quantification of gallotannins in mango (*Mangifera indica* L.) kernel and peel and their antiproliferative activities. *Journal of Functional Foods*, **8**, 282-291. DOI: 10.1016/j.jff.2014.03.030.
- Mercado, G. M., Teros, V. L., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A., Parrilla, E. A. & Ayerdi, S. G. (2018). Efecto de la extracción asistida por ultrasonido en la liberación y bioaccesibilidad *in vitro* de carotenoides, en bebidas elaboradas con mango (*Mangifera indica* L.) 'Ataulfo'. *Nova Scientia*, **10(20)**, 100-132. DOI: 10.21640/ns.v10i20.1277.

- Montoya, C. G. & Gómez, C. E. (2011). El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña. *Revista Soluciones de Postgrado*, **4(7)**, 121-131.
- Palafox-Carlos, H., Gil-Chávez, J., Sotelo-Mundo, R., Namiesnik, J., Gorinstein, S. & González-Aguilar, G. (2012a). Antioxidant interactions between major phenolic compounds found in 'Ataulfo' mango pulp: chlorogenic, gallic, protocatechuic and vanillic acids. *Molecules*, **17(11)**, 12657-12664. DOI: 10.3390/molecules171112657.
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sánchez, M. & González-Aguilar, G. A. (2012b). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, **135**, 7-13. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.11.027.
- Ptichkina, N. M., Markina, O. A. & Romyantseva, G. N. (2008). Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food Hydrocolloids*, **22(1)**, 192-195. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2007.04.002.
- Puligundla, P., Mok, C., Oh, S. E. & Obulam, V. S. (2014). Biotechnological potentialities and valorization of mango peel waste: a review. *Sains Malaysiana*, **43(12)**, 1901-1906.
- Quintana-Obregón, E., Martín-Hernández, S., Muy-Rangel, M. & Vargas-Ortiz, M. (2019). Valorization of mango (*Mangifera indica* L.) pericarp powders as an alternative for the generation of functional foods. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, **22**, 1-5. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2019.0.178.
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Ciudad de México, México. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf> (consultado en mayo de 2021).
- Sánchez-Aldana, D., Aguilar-González, C. N., Contreras-Esquivel, J. C. & Nevárez-Moorillón, G. V. (2011). Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque. *Tecnociencia Chihuahua*, **5(2)**, 76-82.
- Sánchez-Mesa, N., Sepúlveda-Valencia, J. U., Ciro-Velásquez, H. J. & Meireles, M. A. (2020). Bioactive compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) obtained by supercritical fluids and pressurized liquids extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, **19(2)**, 755-766. DOI: 10.24275/rmiq/Alim657.
- San Martín-Hernández, C., Pérez-Rubio, V., Muy-Rangel, M. D., Vargas-Ortiz, M. A. & Quintana-Obregón, E. A. (2020). Caracterización del polvo y pectina del pericarpio del mango (*Mangifera indica* L.) 'Ataulfo' maduro y análisis FODA para su procesamiento. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, **23**, 1-10. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.274.
- Sarmento, T. R. (2012). Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, 298 págs. Madrid, España.
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Zamora-Gasga, V. M. & Venema, K. (2019). Prebiotic effect of predigested mango peel on gut microbiota assessed in a dynamic in vitro model of the human colon (TIM-2). *Food Research International*, **118**, 89-95. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.12.024.
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F. R., Garcia, P. S., Carmen, L. D., Jagadevan, S. & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. flavicarpa) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, **38**, 186-192. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.001.
- Serna-Cock, L., García-Gonzales, E. & Torres-León, C. (2016). Agro-industrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, **32(4)**, 364-376. DOI: 10.1080/87559129.2015.1094815.
- SIAP. (2021). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), CDM, México. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (consultado en mayo de 2021).
- Sethiya, N. K., Trivedi, A. & Mishra, S. H. (2015). Rapid validated high performance thin layer chromatography method for simultaneous estimation of mangiferin and scopoletin in *Canscora decussata* (South Indian Shankhpashpi) extract. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, **25(3)**, 193-198. DOI: 10.1016/j.bjp.2015.04.002.
- Sommano, S., Ounamornmas, P., Nisoa, M. & Sriwattana, S. (2018). Bioactive functionality of pectin from peels of seven Thai mango cultivars. *Acta Horticulturae*, **1213**, 423-428. DOI: 10.17660/actahortic.2018.1213.62.
- Sultana, B., Hussain, Z., Asif, M. & Munir, A. (2012). Investigation on the antioxidant activity of leaves, peels, stems bark, and kernel of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science*, **77(8)**, 849-852. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02807.x
- Sumaya-Martínez, M. T., Herrera, L. M., García, G. T. & Paredes, D. G. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, **30**, 826-833.
- Sundarraaj, A. A. & Ranganathan, T. V. (2017). A review-pectin from agro and industrial waste. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, **12(10)**, 1777-1801.
- Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G. & Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción

- rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas. *Información Tecnológica*, **29(1)**, 129-136. DOI: 10.4067/S0718-07642018000100129.
- USDA. (2020). Agricultural Research Service. United State Department of Agriculture (USDA), EE.UU. Disponible en <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102670/nutrients> (consultado en mayo de 2021).
- Wall-Medrano, A., Olivas-Aguirre, F. J., Velderrain-Rodríguez, G. R., González-Aguilar, A., Rosa, L. A., López-Díaz, J. A. & Álvarez-Parrilla, E. (2015). El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, **31(1)**, 67-75. DOI: 10.3305/nh.2015.31.1.7701.
- Wongkaew, M., Sommano, S. R., Tangpao, T., Rachtanapun, P. & Jantanasakulwong, K. (2020). Mango peel pectin by microwave-assisted extraction and its use as fat replacement in dried chinese sausage. *Foods*, **9(4)**, 450. DOI: 10.3390/foods9040450.